

Эксплуатация ДВС

ния, информативный частотный диапазон, диагностические признаки изменения технического состояния подшипникового узла, зависимости информативных характеристик от параметра ТС, которые позволяют непосредственно определить суммарный люфт в подшипниковом узле по изменению вибрации на корпусе ТК, а также проводить мониторинг ТС объекта исследования по величине диагностических признаков.

...

Представленная работа выполняется при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы», Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-08-00424) и государственного задания Минобрнауки РФ (проект №2012044 – ГЗ 05).

Список литературы:

1. Белоглазов Н.С. Оценка ресурса капитально – отремонтированных турбокомпрессоров по результатам стендовых испытаний. / Н.С. Белоглазов // Диссертация на соискание степени к.т.н. – Челябинск, ЧГАУ, 1997. – 170с. 2. Диагностика автотракторных двигателей. / Под. ред. Н.С. Ждановского. – Л.: Колос, 1977. – 264с. 3. Иванов Д.Ю. Вибрационный контроль трибосопряжения ротор – плавающая втулка – корпус / Д.Ю. Иванов, А.С. Фишер, К.В. Вазенин //Трибология и надежность. Сборник

научных трудов XI Международной конференции, 27 – 29 октября 2011г. – Санкт - Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения. – 2011. С.128-135. 4. Иванов, Д.Ю. Учет колебаний силового агрегата при диагностировании подшипникового узла ротора малоразмерного турбокомпрессора ТКР-8,5С. /Д.Ю. Иванов, М.К. Филимонов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королёва №3(19). – 2009. – Ч1 – С.389 – 394. 5. Никитин, Е.А. Диагностирование дизелей/ Е.А. Никитин, Л.В. Станиславский, Э.А. Улановский и др. – М.: Машиностроение, 1987 – 224с.

Bibliography (transliterated):

1. Beloglazov N.S. Ocenka resursa kapital'no – otre-montirovannykh turbokompressorov po rezul'tatam stendovykh ispytaniy./ N.S. Beloglazov // Dissertacija na soiskanie stepeni k.t.n. – Cheljabinsk, ChGAU, 1997. –170s. 2. Diagnostika avtotraktornykh dvigatelej./ Pod. red. N.S. Zhdanovskogo. – L.: Kolos, 1977. –264s. 3. Ivanov D.Ju. Vibracionnyj kontrol' tribosoprjazhenija rotor – plavajuwaja vtulka – korpus / D.Ju. Ivanov, A.S. Fisher, K.V. Vazhenin //Tribologija i nadezhnost'. Sbornik nauchnykh trudov XI Mezhdunarodnoj konferencii, 27 – 29 oktjabrja 2011g. – Sankt - Peterburg: Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobwenija. – 2011. S.128-135. 4. Ivanov, D.Ju. Uchet kolebanij silovogo agre-gata pri diagnostirovanii podshipnikovogo uzla rotora malorazmernogo turbokompressora TKR-8,5S. /D.Ju. Iva-nov, M.K. Filimonov // Vestnik Samarskogo gosudarstven-nogo ajerokosmicheskogo univer-siteta imeni akademika S. P. Korol'jova №3(19). – 2009. – Ch1 – S.389 – 394. 5. Niki-tin, E.A. Diagnostirovanie dizelej/ E.A. Nikitin, L.V. Stanislavskij, Je.A. Ulanovskij i dr. – M.: Mashino-stroenie, 1987 – 224s.

УДК 621.43

О.О. Осетров, канд. техн. наук, С.С. Кравченко, магістр, Ю.О. Климец, магістр

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИНТЕТИЧНОГО ГАЗОВОГО ПАЛИВА В СТАЦІОНАРНОМУ ДВИГУНІ 11ГД100М

Постановка проблеми

На сьогодні палива нафтового походження є головними джерелами енергії для двигунів внутрішнього згоряння. За оцінками фахівців, запаси нафти будуть практично вичерпані в найближчі 50-60 років [1]. Тому особлива увага в сучасному двигунобудуванні приділяється розробці технологій використання альтернативних джерел енергії.

Перспективним джерелом енергії є кам'яне вугілля, запасів якого, при сьогоднішньому обсязі здобування та споживання, вистачить більше ніж на 240 років [1]. Одним з перспективних шляхів використання кам'яного вугілля в ДВЗ є його переробка в синтез-газ, який можна використовувати в якості палива для газових двигунів при незначній зміні їх конструкції.

Метою роботи є аналіз можливості використання синтетичного газового палива, отриманого

газифікацією вугілля, в стаціонарному газовому двигуні 11ГД100М.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням дослідження та моделювання робочих процесів двигунів, що працюють на синтез-газі присвячено ряд робіт [2-5].

В цих роботах проаналізовано можливості отримання синтез-газу з різних сировинних джерел, наведено ряд схем реакторів для отримання синтез-газу, виконані розрахунки та експериментальні дослідження робочих процесів двигунів.

Аналіз технічної літератури показав, що недостатньо висвітленим на сьогодні залишається ряд питань. Дослідники, як правило, наводять схематичні зображення реакторів для отримання синтез-газу, проте відсутні рекомендації щодо вибору параметрів таких реакторів. Недостатньо даних щодо фізико-хімічних властивостей газових палив та їх впливу на протікання робочих процесів двигунів.

Відсутні відомості щодо показників двигунів з форкамерно-факельним запалюванням при роботі на синтетичних газових паливах. Бракує досліджень з розробки математичних моделей робочих процесів таких двигунів.

Тому в роботі поставлені задачі розробки ефективної установки для газифікації вугілля, вибору параметрів такої установки, оцінки теплофізичних властивостей синтез-газу, моделювання і дослідження робочих процесів двигуна 11ГД100М при використанні синтез-газу.

Комбінована установка з двигуном 11ГД100М

В якості енергетичної установки обрано газовий двотактний двигун 11ГД100М з форкамерно-факельним запалюванням та зустрічно-рухомими поршнями.

Основною перевагою цього методу організації робочого процесу є можливість ефективного спалювання набагато більше збіднених сумішей, ніж при звичайному іскровому запалюванні [6]. Таким чином, при форкамерно-факельному запалюванні стає можливим більш ефективно чисто якісне регулювання потужності двигуна.

Жоден зарубіжний аналог не має такого напруження і досвіду експлуатації в умовах країн СНД, як двигуни 11ГД100. Експлуатація підтвердила значні переваги означених газових двигунів відносно зносостійкості, довговічності, терміну служби, відносно низької вартості технічного обслуговування [7,8].

Основні параметри двигуна 11ГД100М наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Основні параметри газового двигуна 11ГД100М

Параметр	Значення
Ефективна потужність, кВт	1000
Частота обертання, хв ⁻¹	750
Кількість циліндрів	10
Діаметр циліндру, м	0,207
Хід поршня, м	0,254
Ступінь стиску	15
Індикаторний ККД	0,42
Максимальний тиск циклу, МПа	7,1
Ефективний ККД	0,31
Питома ефективна витрата палива, кДж/(кВт·год)	11738

Видно, що двигун 11ГД100М має високі індикаторні та ефективні показники для газових двигунів.

Тому цей двигун обрано в якості об'єкта дослідження.

До теперішнього часу освоєно різні модифікації промислових процесів газифікації вугілля.

Проведений аналіз установок по отриманню синтез-газу з вугілля показав, що найбільша ефективність досягається при використанні установок, де використовуються водо-вугільні суспензії (ВВС), які набагато краще піддаються газифікації, ніж вугілля. Ефективність газифікації ВВС складає більше 97 %, тоді як звичайного вугілля в найбільш поширеному шаровому способі - не більше ніж 70-80 % [9]. Завдяки присутності води в суспензії температура адіабатного горіння знижується, що у свою чергу приводить до зменшення утворення оксидів азоту. В цьому випадку не потрібна попередня сушка твердого палива і виключається подача пару в газифікатор [9]. На рис. 1 представлена пропонувана схема конвертованого двигуна на базі 11ГД100М разом з установкою для отримання синтез-газу.

Установка працює наступним чином. Подрібнене вугілля разом з водою та активованою кальцинованою содою, яка виступає в якості каталізатора, змішують та транспортують насосом. Приготовлену суспензію омагнічують для запобігання утворення накипу в трубах реактора, де вона отримує додаткову активацію, стає більш стійкою.

Потім омагнічену суспензію подають в труби реактора для газифікації, де за рахунок теплоти відпрацьованих газів з додаткової камери згоряння відбувається конверсія ВВС в синтез-газ широкого складу. При цьому температуру теплоносія в міжтрубному просторі реактора підтримують в діапазоні 400-1000°C, а температуру в трубах - в діапазоні 200-800°C [10,11]. Після чого утворений синтез-газ, частини, що не прореагували та зольний залишок виводять із зони реактора.

Далі цільовий продукт направляють на промивання і охолодження. Газ (практично незбалансована суміш CO і H₂) направляють в ДВЗ та в додаткову камеру згоряння реактора для газифікації.

Особливістю пропонованої установки є отримання синтез-газу без використання зовнішніх окиснювачів, при помірних температурах і спрощенні технології його виробництва.

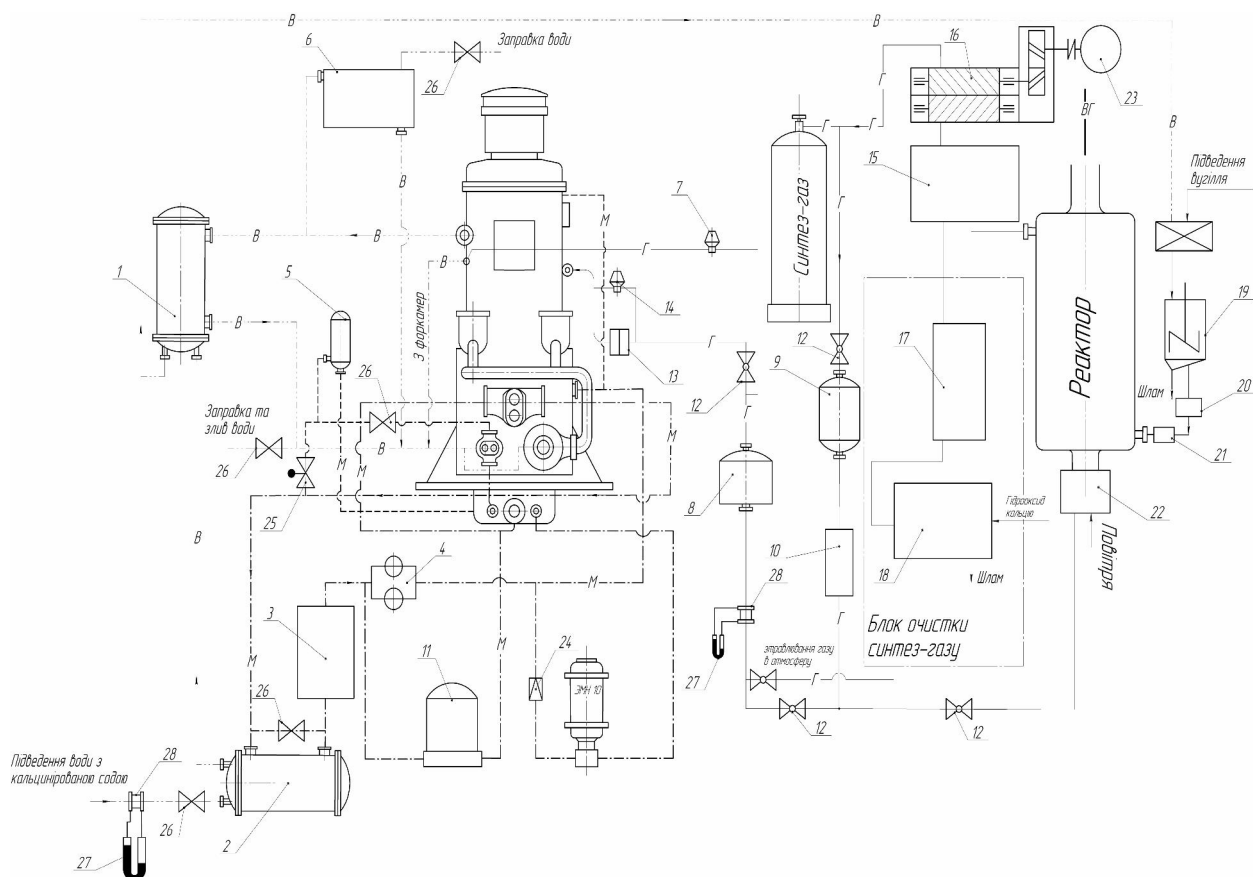


Рис. 1. Схема конвертованого двигуна на базі 11ГД100М разом з установкою для отримання синтез-газу: 1-холодильник води; 2-холодильник мастила; 3-фільтр грубої очистки мастила; 4-сітчастий маслофільтр; 5-відцентровий маслофільтр; 6-розширювальний бачок; 7-редуктор форкамерного газу; 8-резервуар газового лічильника; 9-основний газовий фільтр; 10-запобіжний клапан з редуктором; 11-фільтр тонкої очистки мастила; 12-кран диходовий; 13-пусковий газовий клапан; 14-пусковий газовий редуктор; 15-холодильник-конденсатор; 16-компресор; 17-скубер-промивач; 18-ємність з оборотною водою; 19-змішувач; 20-пристрій омагнічування; 21-насос; 22-допоміжна камера згоряння; 23-електродвигун; 24-клапан; 25-клапан запобіжний; 26-вентиль; 27-ртутний манометр; 28-діафрагма; ----В---- - вода; ----М----- - мастило; ----Г----- - синтез-газ

З метою вибору робочих параметрів установки, перевірки доцільності використання відпрацьованих газів (ВГ) двигуна в якості додаткового теплоносія, визначення кількості палива, що необхідно витратити для проведення реакції в реакторі, виконано розрахунки енергетичного балансу установки для отримання синтез-газу. Енергетичний баланс установки можна представити у вигляді рівняння:

$$H_{\text{вуг}} + H_{\text{вод}} + H_{\text{пов}} + H_{\text{сг}} + Q_{\text{сг}} + H_{\text{вгд}} = H_{\text{сгр}} + H_{\text{в}},$$

де $H_{\text{вуг}}$ – ентальпія вугілля, що подано до реактору; $H_{\text{вод}}$ – ентальпія води, що подано до реактору; $H_{\text{пов}}$ – ентальпія повітря, що подано до допоміжної камери згоряння; $H_{\text{сг}}$ – ентальпія синтез-газу, що подано до допоміжної камери згоряння; $Q_{\text{сг}}$ – теплота згоряння, що утворилася в допоміжній камері внаслідок згоряння синтез-газу; $H_{\text{вгд}}$ – ентальпія ВГ двигуна; $H_{\text{сгр}}$ – ентальпія синтез-газу, що утворився внаслідок газифікації вугілля; $H_{\text{в}}$ – ентальпія ВГ, що виходять з реактора.

На рис. 2 наведено залежність витрати синтез-газу через допоміжну камеру згоряння від температури відпрацьованих газів двигуна, що подаються до реактора.

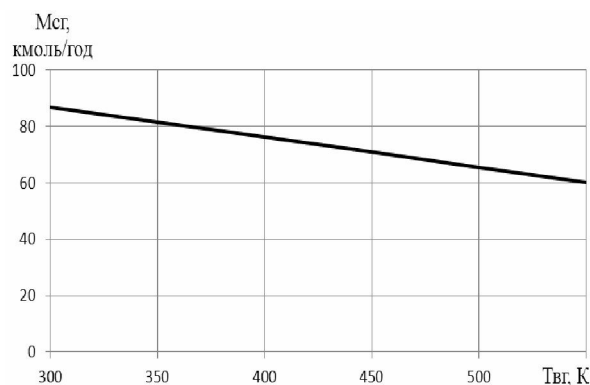


Рис. 2. Залежність витрати синтез-газу через допоміжну камеру згоряння від температури ВГ при постійних витраті ВГ $M_{\text{вг}} = 492$ кмоль/год та температурі в реакторі $T_{\text{реак}} = 800\text{К}$

З представленої залежності видно, що при підвищенні температури відпрацьованих газів двигуна знижується маса синтез-газу, яка витрачається для їх підігріву до температури проведення реакції.

Залежність витрати синтез-газу через допоміжну камеру згоряння реактора від витрати відпрацьованих газів двигуна показана на рис. 3.

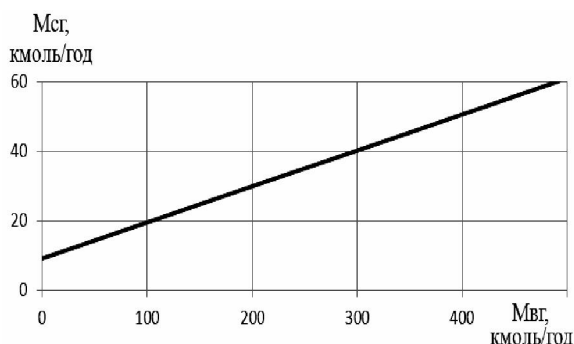


Рис. 3. Залежність витрати синтез-газу через допоміжну камеру згоряння від витрати ВГ через реактор при постійних температурі ВГ $T_{вг} = 550$ K та температурі в реакторі $T_{реак} = 800$ K

Отримана залежність показує, що із збільшенням витрати відпрацьованих газів двигуна через реактор збільшується витрата синтез-газу для їх підігріву.

Порівняння витрати синтез-газу через допоміжну камеру згоряння при використанні відпрацьованих газів двигуна та без їх перепуску наведено на рис.4.

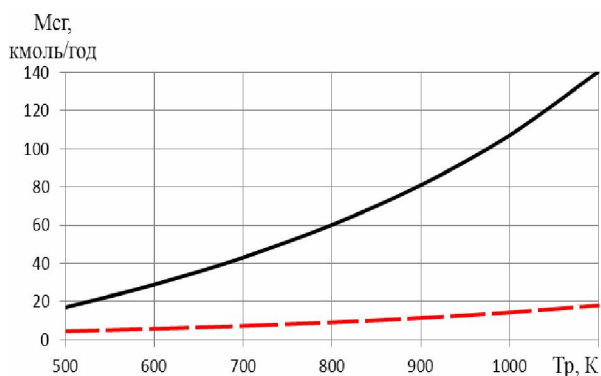


Рис. 4. Залежність витрати синтез-газу через допоміжну камеру згоряння від температури в реакторі:

— з ВГ при $T_{вг}=550$ K, $M_{вг}=492,28$ кмоль/год;
- - без перепуску ВГ двигуна

З представленої залежності (рис.4) видно, що перепуск ВГ двигуна через реактор не є ефективним, оскільки це приводить до збільшення витрати

синтез-газу, який йде на підігрів відпрацьованих газів до температури проведення реакції. Тому в якості теплоносія в реакторі запропоновано використовувати виключно ВГ, які утворюються внаслідок згоряння синтез-газу.

Теплофізичні властивості синтез-газу

Синтез-газ являє собою суміш оксиду вуглецю та водню у різному співвідношенні, а також містить у невеликій кількості метан, етилен, диоксид вуглецю та інші вуглеводні. На сьогодні в промисловості поширення одержали технологічні процеси отримання синтез-газу із вмістом водню від 20 до 60 % по об'єму.

Проаналізовано вплив складу синтез-газу на його теплофізичні властивості (рис. 5–7).

На рис. 5 приведено залежність густини та масової теплоти згоряння синтез-газу від об'ємного вмісту водню в ньому.

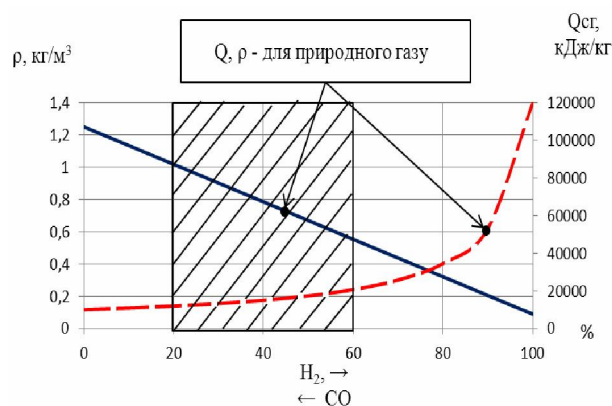


Рис. 5. Залежність густини та масової теплоти згоряння синтез-газу від об'ємного вмісту H_2 :

— - густина палива ρ ;
- - масова теплота згоряння палива Q

З представленої залежності видно, що густина синтез-газу зменшується із підвищенням вмісту водню, і в порівнянні з природним газом може бути як вищою, так і нижчою. Збільшення об'ємної долі водню в паливі веде до збільшення теплоти згоряння синтез-газу. Але при використанні синтез-газу з вмістом водню в межах 20...60 % за об'ємом масова теплота згоряння зменшується порівняно з природним газом більше ніж в 2,5 рази. Це пояснюється тим, що основним горючим компонентом синтез-газу означеного складу є оксид вуглецю (рис. 6), який має майже в 5 разів нижчу за природний газ масову теплоту згоряння.

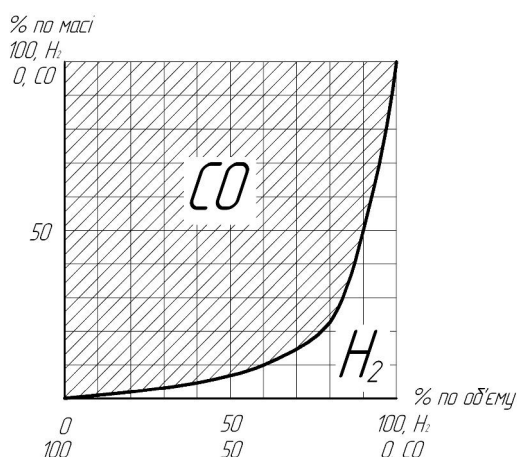


Рис. 6. Залежність масового вмісту компонентів синтез-газу (H_2 та CO) від їх об'ємного вмісту

Синтез-газ (з об'ємним вмістом водню 60%) завдяки більш простому молекулярному складу має на 15% меншу теплоємність, ніж природний газ, теплоємність якого при $20^\circ C$ становить $33,6 \text{ кДж/кмоль}\cdot K$ (рис. 7). Це позитивно відображається на показниках робочого циклу двигуна, оскільки менша теплоємність робочого тіла призводить до збільшення максимальної температури в циклі, отже підвищення термічного та індикаторного ККД.

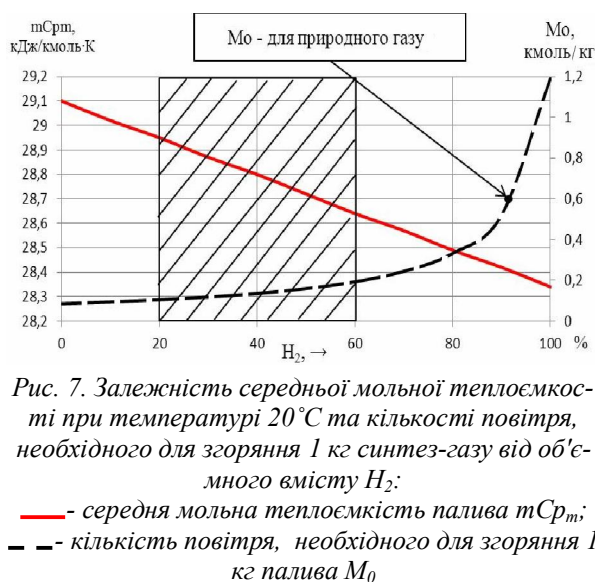


Рис. 7. Залежність середньої мольної теплоємності при температурі $20^\circ C$ та кількості повітря, необхідного для згоряння 1 кг синтез-газу від об'ємного вмісту H_2 :

— — середня мольна теплоємність палива mCp,m ;
— — кількість повітря, необхідного для згоряння 1 кг палива M_0

Для згоряння 1 кг синтез-газу (див. заштриховану область на рис. 7) необхідна в 3-6 разів менша кількість повітря, ніж для згоряння 1 кг природного газу. Це свідчить про те, що при незмінній кількості повітря, яке потрапляє до циліндрів двигуна в процесах газообміну, і, відповідно, в 2-2,7 рази більший масі синтез-газу для отримання відповідної

потужності, коефіцієнт надлишку повітря в циклі збільшиться. Вказане може призвести до зниження повноти згоряння синтез-газу і погіршення показників циклу.

Вказані властивості синтез-газу обумовлюють протікання робочого процесу двигуна.

Математична модель згоряння синтез-газу

В роботі для дослідження і моделювання процесу згоряння синтез-газу прийнята однозонна термодинамічна модель, в основу якої покладені напівемпіричні формули І.І. Вібе:

$$x = 1 - \exp(C\bar{\varphi}^{m+1}),$$

$$\frac{dx}{d\varphi} = -C \frac{m+1}{\bar{\varphi}} \bar{\varphi}^{-m} \exp(C\bar{\varphi}^{m+1}),$$

де $\bar{\varphi}$, φ_z - відповідно поточний час від початку згоряння та тривалість згоряння, представлені в град. п.к.в; C - константа, що враховує повноту згоряння палива; m - показник характеру згоряння, константа, що визначає динаміку процесу згоряння.

Коефіцієнти моделі такі як, тривалість згоряння φ_z та динаміки згоряння m підбираються емпіричним шляхом за умови забезпечення задовільного узгодження між розрахунковою та експериментальною індикаторними діаграмами. З метою визначення цих коефіцієнтів було виконано ряд досліджень для базового двигуна при його роботі на природному газі. Дослідження показали, що коефіцієнт тривалості згоряння φ_z залежить від коефіцієнту надлишку повітря α в циліндрі двигуна. Цей параметр визначався за емпіричною залежністю:

$$\varphi_z = 11,5305 \cdot \alpha^2 + 2,4589 \cdot \alpha - 1,3079.$$

Показник характеру згоряння m - прийнятий постійним і рівним $m = 1$.

При математичному моделюванні роботи двигуна на синтез-газі приймалося припущення, що показники φ_z і m залишаються незмінними. Це припущення засноване на даних роботи [6], де вказано, що при максимальних значеннях збіднення паливоповітряної суміші, що відбувається в двигуні 11ГД100М, тривалість згоряння різних газових палив змінюється не суттєво.

Повноту згоряння синтез-газу розраховували за залежністю:

$$pol_{ce} = \sum pol_i \cdot m_i,$$

де pol_i - повнота згоряння i -го горючого компонента синтез-газу (приймалося за емпіричними залеж-

ностями для кожного окремого горючого компоненту палива); m_i —масова доля i -го горючого компонента палива у складі горючих компонентів.

Константа C , що враховує повноту згоряння в формулі Вібе, визначалася за рівнянням:

$$C = \ln(1 - \rho \phi_{\text{св}})$$

Верифікація математичної моделі здійснювалася для випадку використання природного газу за експериментальними даними, наведеними в роботі [2] (рис.8).

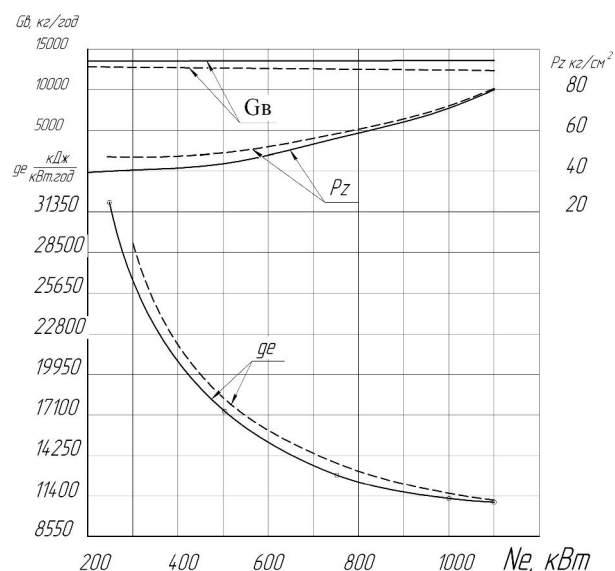


Рис. 8. Основні параметри роботи газового двигуна 11ГД 100М по навантажувальній характеристиці при $n = 750 \text{ хв}^{-1}$:

— - експеримент; - - - розрахунок

З рис. 8 видно, що використання розробленої математичної моделі дозволяє отримати достатній для поставлених задач збіг розрахункових і експериментальних даних.

Розрахунок робочого циклу ДВЗ, виконаний для двигуна 11ГД100М з форкамерно-факельним запалюванням та зустрічно рухомими поршнями.

Синтез-газ прийнятий наступного складу [2]: $\text{CO}-37\%$; $\text{H}_2-50\%$; $\text{CH}_4-0,5\%$; $\text{N}_2-5,5\%$; $\text{CO}_2-6,5\%$; $\text{O}_2-0,2\%$; $\text{H}_2\text{S}-0,3\%$.

Результати розрахунку робочого процесу двигуна 11ГД100М, що працює на синтез-газі та природному газі, на номінальному режимі роботи наведені в табл. 2 та на рис. 9 – 12.

Таблиця 2. Основні параметри робочого процесу двигуна

Параметр	Значення	
Вид палива	Синтез-газ	Природний газ
Коефіцієнт надлишку повітря	2,28	1,93
Максимальний тиск циклу, МПа	6,24	7,11
Індикаторний ККД	0,38	0,42
Ефективний ККД	0,278	0,307
Питома ефективна витрата палива, кДж/(кВт·год)	12943	11738

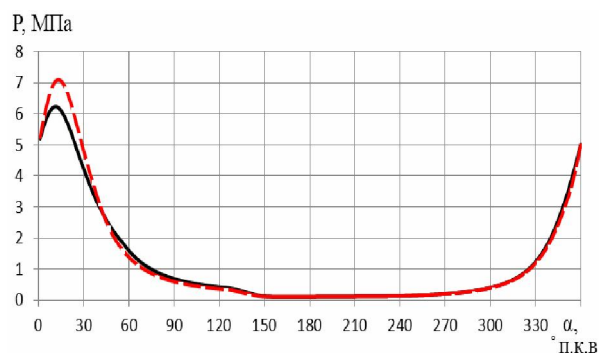


Рис. 9. Індикаторна діаграма двигуна 11ГД100М:

— - синтез-газ; - - - природний газ

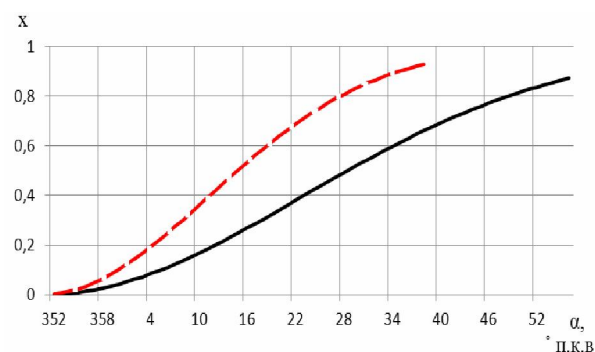


Рис. 10. Інтегральна характеристика тепловиділення в циліндрі:

— - синтез-газ; - - - природний газ

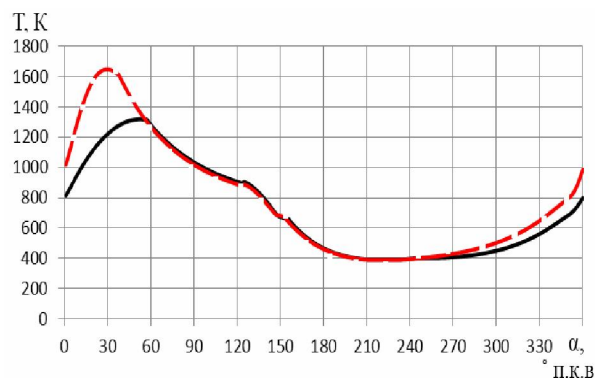


Рис. 11. Температура газів в циліндрі:

— - синтез-газ; - - - природний газ

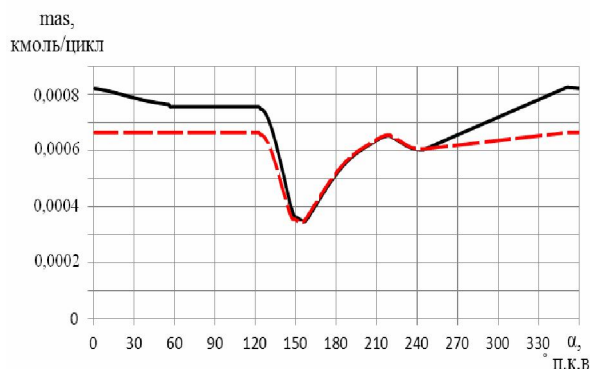


Рис. 12. Кількість робочого тіла в циліндрі:
— синтез-газ; - - природний газ

Аналіз рис. 9–12 показує, що при використанні синтез-газу з об'ємним вмістом водню 50 % зменшуються максимальні тиск і температура згоряння, уповільнюється швидкість згоряння, росте витрата палива. Але при цьому на 9,3 % збільшується питома ефективна витрата палива, на 10,5 % зменшуються індикаторний та ефективний ККД.

Погіршення показників паливної економічності двигуна можна пояснити наступним. Синтез-газ означеного складу має на 70 % меншу масову теплоту згоряння, отже для забезпечення незмінної потужності необхідно забезпечити його більшу подачу до циліндрів ДВЗ. Збільшення кількості робочого тіла в циліндрі призводить до зменшення максимальної температури та тиску газу, отже погіршення термічної ефективності циклу.

Крім того, в циліндрі підвищується коефіцієнт надлишку повітря в циліндрі внаслідок зменшення кількості повітря, що потрібне для згоряння 1 кмоль палива. Оскільки тривалість і повнота згоряння безпосередньо пов'язані з коефіцієнтом надлишку повітря, підвищення α призводить до збільшення тривалості та зменшення повноти згоряння палива (рис.10).

Незважаючи на те, що індикаторні та ефективні показники конвертованого двигуна погіршуються у порівнянні з показниками базового двигуна, вони є достатньо високими для газових двигунів.

За розрахунками для номінального режиму визначено, що вартість 1 кВт енергії, виробленої з кам'яного вугілля, на 42% менше, ніж вартість енергії, виробленої з природного газу. На користь використання синтез-газу також свідчить зменшення на 350K максимальних температур циклу, отже викиди NO_x з відпрацьованими газами будуть набагато меншими, ніж при застосуванні природного газу.

Таким чином, проведені розрахункові дослідження показали високу ефективність використання синтетичного газового палива у вітчизняному газовому двигуні 11ГД100М. В подальших роботах планується уточнення математичних моделей згоряння та утворення шкідливих речовин в циліндрі двигуна, проведення детальних досліджень робочих процесів, модернізація конструкції дослідного двигуна для забезпечення збільшених подач синтетичного газового палива.

Висновки

В роботі проаналізовано можливості використання синтетичного газового палива в стаціонарному газовому двигуні 11ГД100М.

При цьому вирішені такі задачі:

1. Виконано аналіз відомих схем установок для отримання синтез-газу з вугілля, за результатами якого обрано схему з використанням водовугільної суспензії. Запропоновано схему комбінованої установки з двигуном 11ГД100М з реактором отримання синтез-газу.

2. За результатами розрахунків енергетичного балансу вибрано робочі параметри установки для отримання синтез-газу, та перевірено доцільність використання ВГ двигуна в якості додаткового теплоносія.

3. Проаналізовано теплофізичні властивості синтез-газу з точки зору ефективності їх використання в ДВЗ.

4. Розроблено математичну модель згоряння в двотактному газовому двигуні з форкамерно-факельним запалюванням, що працює на природному газі та на синтетичному газовому паливі. Виконано верифікацію цієї моделі за даними експерименту на природному газі.

5. Виконано розрахунок робочого процесу конвертованого двигуна на номінальному режимі. Отримано параметри робочого тіла в ході робочих процесів, індикаторні та ефективні показники конвертованого двигуна. Результати розрахунків показали, що конвертована установка буде мати достатньо високі для газових двигунів питомі показники.

Список літератури:

1. Канило П. М. Анализ эффективности использования альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / П. М. Канило, И. В. Парсаданов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009.-№1. – С. 8-13.
2. Тимошевский Б.Г. Эффективность комбинированных установок с ДВС и элементами прямого преобразования энергии / Б.Г. Тимошевский, М.Р. Ткач // Авиационно космическая техника и технология. – 2008. – Т. 56, №9. – С. 35

– 38. 3. Тимошевский, Б.Г. Экспериментальные исследования параметров поршневого ДВС с системой термикохимической конверсии биоэтанола / Б.Г. Тимошевский, М.Р. Ткач, та ін. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011, №2.- С. 3-7. 4. Митрофанов О.С. Математическое моделирование рабочего цикла поршневого двигателя, что працює на синтез-газі / О.С. Митрофанов // Електронний вісник. - №3, 2010. 5. Shudo, T. Combustion Characteristics of H₂-CO-CO₂ Mixture in an IC Engine / T.Shudo, K. Tsuga, Y. Nakajima // SAE Technical Paper Series. – 2001. – 5-8 March. – P. 105-115. 6. Генкин К.И. Газовые двигатели / Генкин К.И.- М.: Машиностроение, 1977. – 196 с. 7. ЗАО Украинские технологии когенерационных систем. Описание "UTECS-1000" [Электронный ресурс] / ЗАО Украинские технологии когенерационных систем. – Режим доступа: http://ukrtecs.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=35&lang=ru 8. Аврунин А.Г. Дизель Д100 / А.Г. Аврунин, В.В. Аринкин, Б.Е. Мульман, Б.Н. Струнзе.- М.: Машиностроения, 1958. – 300с. 9. Усова Г.И. Анализ работы освоенных ПГУ на твердом топливе / Г.И. Усова, С.И. Курбанова, А.В. Ременюк / материалы Междунар. науч.-практ. конф., 10 июня 2011 г. / ОмГТУ, 2011. – 319 с. 10. НПО «Гидротрубопровод». Топливный кризис по мере истощения запасов углеводородов планете не грозит [Электронный ресурс] / НПО «Гидротрубопровод» – Режим доступа: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4272.html> - 17.12.2002 г. 11. Пат. 2344163 Российская Федерация, МПК С3/46. Способ переработки угля в синтез-газ / Яшков Е. В.; Златковский В.Г.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "ПОЛИПРОМ". – № 2007138690/04; заявл. 17.10.2007; опублик. 20.01.2009 12. Шароглазов Б. А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов: Учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания» / Шароглазов Б. А., Фарафонов М. Ф., Клементьев В. В. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2004. – 344 с. 13. Дяченко В.Г. Двигуни внутрішнього згорання. Теорія: підручник / Дяченко В.Г. – Харків: НТУ «ХПІ», 2008.- 488с. 14. Акт приемки междуведомственной комиссией головного образца модернизированного газового мотор-генератора 11ГД100М. – Харьков, 1970. 15. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / [Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.]; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1983. -372 с. 16. Калечица И.В. Химические вещества из угл. Пер. с нем./ Калечица И.В.– М.: Химия, 1980. - 616с.

Bibliography (transliterated):

1. Kanilo P.M. Analysis of efficiency of the use of alternative fuels in combustion engines / P.M. Kanilo, I.V. Parsadanov // Combustion Engines. – 2009.- №1. – P. 8-13. 2. Timoshevskiy, B.G. Efficiency of the combined options with DVS and by the elements of direct transformation of energy / B.G. Timoshevskiy, M.R. Tkach // Aviation space system engineering and technology. – 2008. – Т. 56, № 9. – P. 35 – 38. 3. Timoshevskiy, B.G. Experimental research of parameters of piston DVZ is with the system of conversion of thermochemistry of bioetanolu / B.G. Timoshevskiy, M.R. Tkach, at all // Combustion Engines. – 2011, №2.- P. 3-7. 4. Mitrofanov O.S. Mathematical modulation of duty cycle of piston engine which works on the eider of synthesis / O.S. Mitrofanov of // the Electronic announcer. - №3, 2010. 5. Shudo, T. Combustion Characteristics of H₂-CO-CO₂ Mixture in an IC Engine / T.Shudo, K. Tsuga, Y. Nakajima // SAE Technical Paper Series. – 2001. – 5-8 March. – P. 105-115. 6. Genkin K.I. the Gas engines / Genkin K.I.- M.: Mashinbuilding, 1977. – 196p. 7. COMPANY is Ukrainian technologies of the kogeneration systems. Description "UTECS-1000" [Electronic resource] / COMPANY is Ukrainian technologies of the kogeneration systems. it is access Mode: http://ukrtecs.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=35&lang=ru 8. Avrunin A.G. Diesel of D100 [Text] / A. G. Avrunin, V.V. Arinkin, B.E. Mul'man, B.N. Strunge.- M.: Engineers, 1958. – 300p. 9. Usova g.I. Analysis of work of mastered PGU on a hard fuel / G.I. Usova, S.I. Kurbanova, A.V. Remenyuk / materials of the International scientific practical conference, on June, 10, 2011 / OMGTU, 2011. – 319 p. 10. NPO is «Gidrotuboprovod». A fuel crisis as far as exhausting of supplies of hydrocarbons does not threaten a planet [Electronic resource] / NPO «Gidrotuboprovod» is access Mode: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4272.html> - 17.12.2002 11. Patente 2344163 Rosiyskaya Federation, MPK Sj3/46. Method of processing of coal in a synthesis-gas [Text] / Yashkov A. V.; Zlatkovskiy V.G.;zayavitel' Company limited liability "POLIPROM". – № 2007138690/04; Opubl. 20.01.2009 12. Sharoglazov B.G., Farafontov of M. of O., Klement'ev V. V. Combustion engines: theory, design and calculation of processes: Textbook on a course «Theory of workings processes and design of processes in combustion engines». it is Chelyabinsk: Publ. of Yuurgu, 2004. – 344 p. 13. Dyachenko V.G. Internal Combustion Engines. Theory: textbook / Dyachenko V.G. Kharkiv: NTU «KHPi», 2008. – 488 p. 14. Acceptance of head standard of the modernized gas an interdepartmental commission report motorgenerators 11GD100M. Kharkov, 1970. 15. Internal Combustion Engines: Theory of piston and combined engines. Textbook for the institutes of higher on speciality «Internal combustion engines» / [D.N. Vyubov, N.A. Ivashchenko, V.I. Ivin]; Editors A.S. Orlin, M.G. Kruglov/ -. [4th publ.]. – M.: Mashinebulding, 1983. -372 p. 16. Kalechitsa I. V. Chemical materials from coal. Translation from German/ I.V. Kalechitsa – M.: Chemistry, 1980. - 616p.

УДК 621.43.016.4

В.В. Шпаковский, д-р техн. наук

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДИЗЕЛЯ K6S310DR

Данный материал основан на опыте 19-летней эксплуатации тепловоза ЧМЭ-3, в дизель которого были установлены поршни с корундовым поверхностным слоем, образованным гальваноплазменной обработкой.

Постановка проблемы

Одной из задач повышения эффективности

работы железнодорожного транспорта является повышение надёжности и ресурса дизелей маневровых тепловозов. Поэтому увеличение ресурса деталей цилиндропоршневой группы считается одной из главных проблем. Это позволит снизить расходы на приобретение запчастей и ремонт дизелей.